



船舶の省エネルギーと オートパイロット

長谷川 和 彦*

1. 船舶の省エネルギー技術

近年、原油価格の高騰に伴い、各方面で省エネルギーや代替エネルギーの問題がクローズアップされてきた。船舶の分野でも、船主としての海運会社を介して造船各社は運航経済性向上のため多大の努力を払っている。

本稿は、船舶の省エネルギー技術を紹介するものではないので、ごく大雑把な表現となることをあらかじめお断りしておくが、新造船に対しては次のような措置がとられている。

- (1) 計画速力の低下
(燃料消費量は船速の略3乗に比例)
- (2) 船型やプロペラの改良
- (3) 船用エンジン（主機）の高効率化，排ガス利用，低質燃料油への移行，等々……

また、最近、帆装商船や石炭焚き船のように一見、時代逆行ともとられる方法が新しい制御方式やプラント技術と組み合わせることにより、数例ではあるが国内外で真剣に見なおされている。

一方、既に就航中の船舶に対して有効なものとしては、

- (4) 主機換装（タービンからディーゼルへ）
- (5) 減速運転
- (6) 船体外板への生物付着等による抵抗増加を防ぐためのドッグ入り，あるいは，self-polishing 型塗料による摩擦抵抗軽減等，ありとあらゆる方策が考えられている。

しかし、上述の方策の多くは、かなりの設備投資（例えば、(4)の場合、大型タンカーで約20億円，償却に8年かかるといわれている¹⁾）が必要であり、(1)と(5)は本質的な燃費改善ではなく減収、金

利、港湾ストとも絡む問題である。

ところで、船を運航する側からみると、他の状態がすべて同じであっても航路により、あるいは操舵の仕方によっても燃費が違ふのは当然である。前者は一般に(7) weather routine と呼ばれる最適航路決定の問題であり、後者が本稿の主題である(8) オートパイロットの調整や設計の問題である。この二つの項目は、極端な言い方をすれば、設備投資なしに船長や航海士の心がけひとつで実現できるのが特長である。

2. 自動操舵に伴う推進馬力損失

自動操舵中の操縦運動に伴う推進馬力損失については、早くから指摘されていた²⁾。その結果を要約すると、操縦運動による推進馬力損失（換言すると抵抗増加）は船の旋回および横すべりに伴う遠心力の船体前後方向成分と操舵抵抗によって生じる。

その後、船型試験水槽における流体力の計測技術が向上するとともに操縦運動による抵抗増加を定量的に表現し、オートパイロットの調整の良否を判断する際の評価関数として用いられるようになった³⁾。

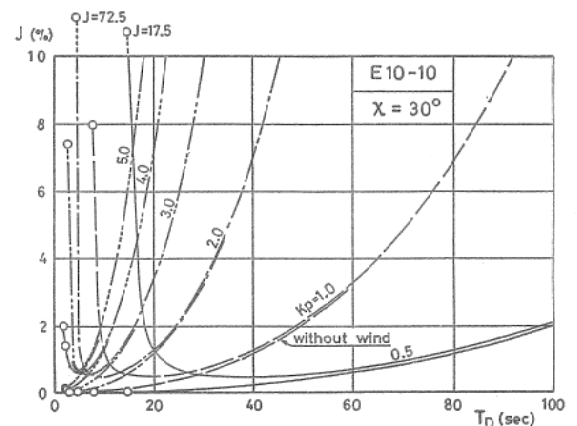


図1 オートパイロットの係数と推進馬力損失の関係

*長谷川和彦 (Kazuhiko HASEGAWA), 大阪大学, 工学部, 造船学科, 野本研究室, 助手, 工学博士, 造船学, 船体運動力学

図1は、その評価関数を用い、波高 1.5m, 平均風速 10m/s, 波および風の船との出会い角 λ を斜め後方 30° とした時の数値計算例である⁴⁾。想定船は船長 50m, 船速約 10ノットの針路不安定船 (舵角中央のまま、長時間、直進できない船) E 10-10 である。なお、図中の K_P および T_D はオートパイロットの比例および微分制御の係数であり、 J は直進時からみた推進馬力損失 (%) である。この結果によると、オートパイロットがうまく調整されていれば、

針路不安定船であっても馬力損失がほとんど無視できるオーダとなるが、調整が悪いと急激に増え、実に 10% 内外にも達することがわかる。

一方、船主の要望と航海計器メーカーの新型パイロット開発の要請から、実船でのオートパイロット性能試験が盛んに行われるようになった。そうした結果をみると、よく調整されたオートパイロットの場合、比較的穏やかな海象では馬力損失が数パーセントないし 1% 以下、荒れた海象では 10% 以上に達するようである。

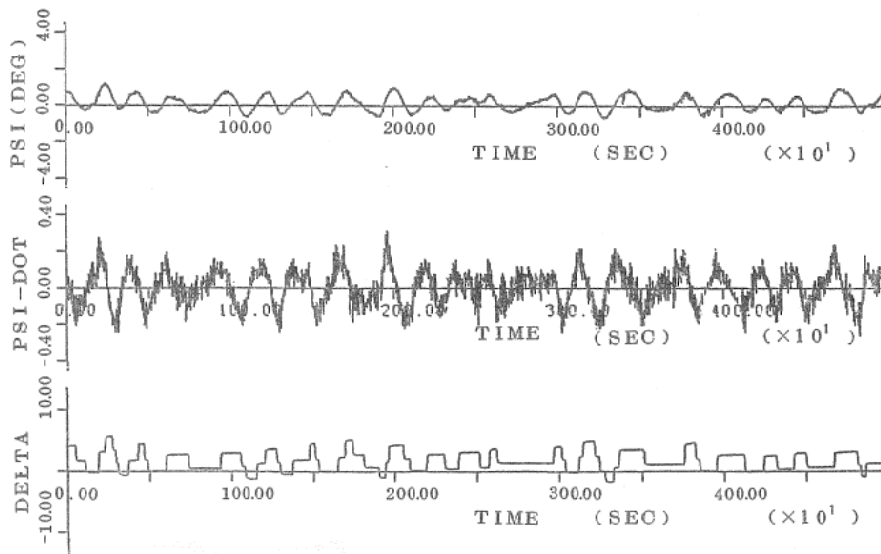


図2 (A) PID 型オートパイロットによる保針例

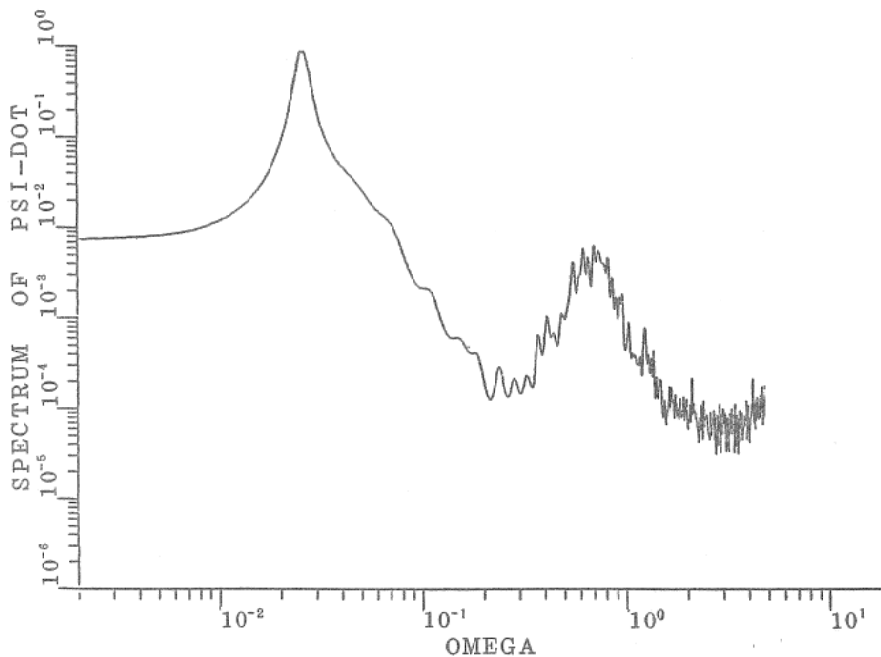


図2 (B) PID 型オートパイロット保針時の角速度スペクトル

図2(A)は船長250mのばら積船が船首より右30°の方向から約12m/sの風浪を受けて保針中の時系列である。上段が船の方位角、中段が旋回角速度、下段が舵角、計測時間は5000秒である。

図2(B)はこのうち旋回角速度のスペクトルで横軸は円周波数である。円周波数 $\omega \geq 0.2$ の部分は波によって直接船体に誘起された角速度運動である。これを操舵によって軽減することはできないし、また一般に、この角速度成分は横すべり運動と90°位相がずれていて抵抗増加とはならない⁹⁾。他方、 $\omega \leq 0.2$ の部分が操舵によって誘起された運動であり、操舵抵抗とともに抵抗増加となる。時系列からもわかるが周期約250秒の操舵、したがって、運動を繰り返して抵抗増加の原因となっている。これは現行のほとんどのオートパイロットに付加されている天候調整機構(weather adjust mechanism)という一種の“遊び”による現象で自励発振(self-excited oscillation)と呼ばれている。この機構は元来、制御効果のない高周波の角速度成分に舵がいちいち反応して操舵機が摩耗等の故障をおこさないためのものであるが、制御上は有害である。前述の評価関数によって求めた馬力損失は約4%であった。

ちなみに、ペルシャ湾向け25万トンタンカーの場合、1日当りの燃料消費量を170kl⁹⁾、1航海34日、C重油価格を4万円/klとすると1

航海に要する燃料費は約2.3億円となり、1%といえどもばかにならないことがわかる。

3. 適応制御型オートパイロット

現在、実用化されているオートパイロットはいわゆるPID(比例・積分・微分)制御方式をとっている。ところが、上述のように、調整を誤ると大きな馬力損失を被るし、仮に、最適に調整しておいても、海象条件、載荷状態によっても最適値は一般に変わる。その調整を時時刻々、自動的に行おうとするのが、適応制御(adaptive control)型のオートパイロットで大きく分けて、3つの方式がある。すなわち、モデル規範適応システム(Model Reference Adaptive System-MRAS)型、自己調整制御(Self Tuning Regulator)型と自己回帰(Auto Regressive)型オートパイロットである。

紙面の制約もあり、詳しくは文献⁷⁾に譲ることにして、ここではMRAS型オートパイロットの実船実験結果の一例を示す。MRASとは、システムを固定系(船の操舵特性)と調整系(規範モデル)に分け、調整系の変数を操作して両系の出力差を0に向かわせる方法である。そうすると、調整系は固定系の特性に常に追従することになるので調整系の係数を用いて最適制御が行える。

図3(A)、(B)は図2と全く同じ船が同じ海象をMRAS型オートパイロットで保針している時

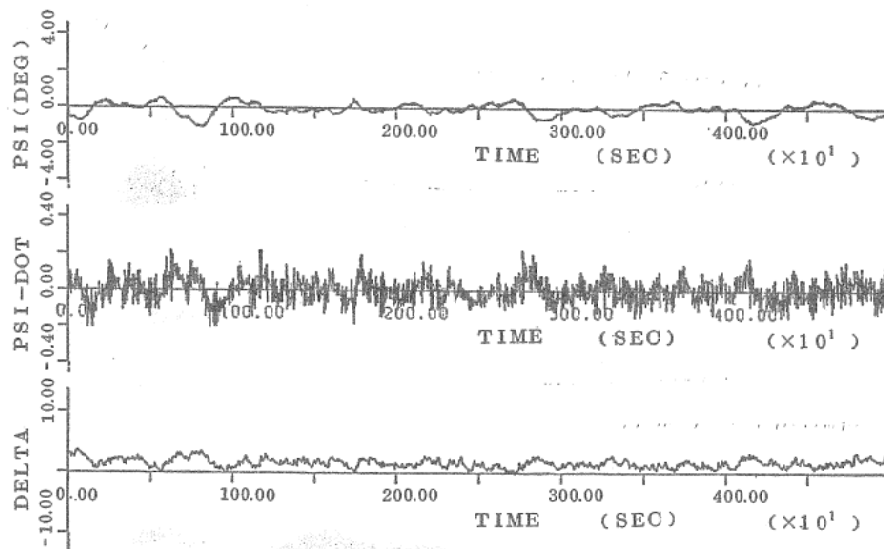


図3(A) MRAS型オートパイロットによる保針例

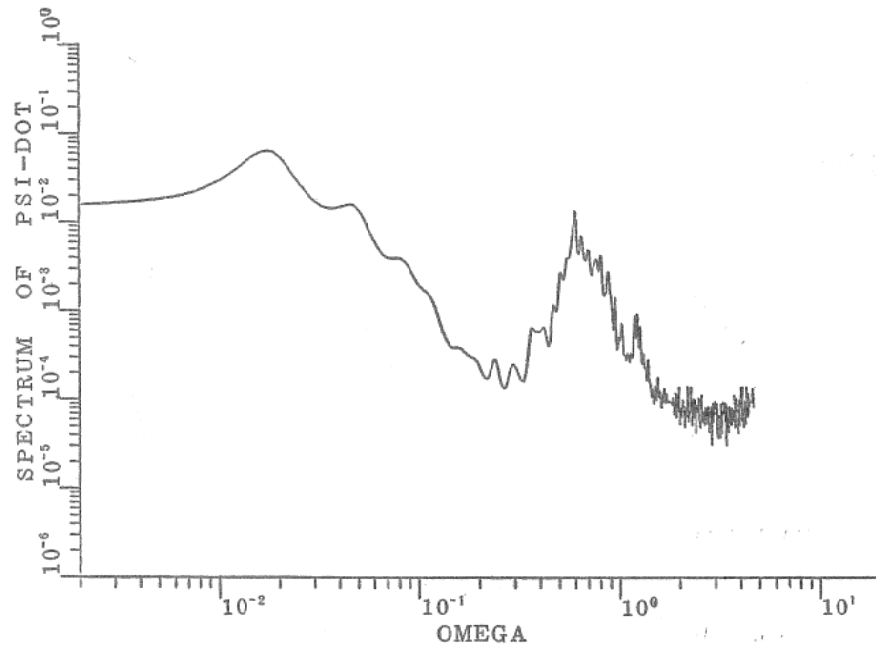


図3 (B) MRAS 型オートパイロット保針時の角速度スペクトル

の時系列と角速度のスペクトルである。図2と比べると自励発振もなくなり、むだな舵もとらずにほぼ直進している様子がわかる。この場合の馬力損失は約1%であった。

適応制御型オートパイロットはまだ完全に実用段階には至っていないが、これが実用化されると省燃費のみならず、船員の低質化や負担軽減、人員削減等のもっと広い意味での省力化に対処できるであろう。今後の成果に期待したい。

4. あとがき

船は他の乗物（航空機，自動車，電車等）に比べると、とびぬけて環境外乱が大きい。しかも、それ自身がプラントであり、また、そういった外乱や荷重に耐える構造物である。したがって、船の操縦性を優先して船型が決められることは少なく、cargo space や engine room の仕様を満足するように配置が決まる。そのし

わ寄せがオートパイロットにくる。しかし、巨大な船体の欠陥を小さなオートパイロットが補い、なおかつ、改善できるのも閉ループ制御のご利益であり、外乱が大きく固有安定性の悪いシステムの制御問題としてのおもしろさがある。

(本稿で引用した計算遂行にあたり、文部省科学研究費補助金の交付を受けたことを付す。)

参考文献

- 1) 小池：海運，624 (1979)，34—40.
- 2) 野本，元山：造船協会論文集，122 (1966)，71—80，小山：同上，123 (1967)，18—35.
- 3) K. Hasegawa：J. of Kansai Soc. of Naval Arch., Japan, 178 (1980)，93—103.
- 4) 長谷川，他：日本造船学会論文集，148 (1980)，99—107.
- 5) H. Eda, C.L. Crane：T. of SNAME, 75 (1965)，135—177.
- 6) 編集部：海運，618 (1979)，33—36.
- 7) 大津，長谷川：第3回操縦性シンポジウム，日本造船学会 (1981)，243—279.